

历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释

张 峰^{1, 2}, 张金屯², 张 峰³

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 2. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 3. 山西大学生命科学系, 太原 030006)

摘要:应用 TWINSpan、DCA 和 DCCA, 从植物种、植物群落与环境的生态关系方面, 研究历山自然保护区猪尾沟森林群落的植被分布格局, 并给予合理的环境解释。结果如下: (1) 采用 TWINSpan 数量分类方法, 将植被划分为 9 个群落类型。 (2) 对于特定的研究区域猪尾沟, 制约森林群落类型、植物种分布格局的主要因素是海拔梯度, 即水、热两个环境因子。 (3) DCCA 排序图明显反映出排序轴的生态意义, 第一轴基本上突出反映了各植物群落所在环境的海拔梯度, 即热量因素, 沿第一轴从左到右, 海拔逐渐升高, 植物群落或植物种对热量要求降低; 第二轴主要表现了各植物群落或植物种所在环境的坡度、坡向, 即水分和光照因素, 沿第二轴从下到上, 坡度渐缓、坡向渐向阳。

关键词:森林群落; TWINSpan 分类; DCA 排序; DCCA 排序; 历山

Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve

ZHANG Feng^{1, 2}, ZHANG Jin-Tun², ZHANG Feng³ (1. *Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China*; 2. *Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China*; 3. *Department of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 421~427.

Abstract: Quantitative research on ecological relationships at landscape and region scales between vegetation and the environment has been developing rapidly, and became one of the focuses of vegetation science. In this paper, pattern of forest vegetation in Zhuweigou of Lishan Mountain Nature Reserve, in relation to the environmental factors, was investigated using TWINSpan, DCA and DCCA.

By TWINSpan, the forest communities were classified into 9 types. In general, the distribution of plant communities could comprehensively reflect the influence of climate, altitude, topography, edaphic conditions and so on. These patterns could be considered a combination of factors operating at different scales. The results of DCA ordination indicate that the main factors that restricted distribution of the communities were temperature and humidity in Lishan Mountain. That is to say, altitude and disturbance appeared to override the effect of soil nutrients. At the same time, the ordination of species and the ordination of quadrats were compared. It was shown that the ordination plot of the dominant species in

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607); 国家自然科学基金资助项目(30070140)
收稿日期:2002-05-28; **修订日期:**2002-10-29
作者简介:张 峰(1977~), 女, 山西人, 博士研究生, 主要从事植被生态学和景观生态学研究。
Foundation item: State key basic research and development plan of China (G2000018607), National Natural Science Foundation of China (No. 30070140)
Received date: 2002-05-28; **Accepted date:** 2002-10-29
万方数据
Biography: ZHANG Feng, Doctor candidate, Main research field: vegetation ecology and landscape ecology.

plant community was similar to that of the plant community type. To some extent, the distribution of the former determined that of the latter.

The species-environment correlation was more obvious using DCCA than DCA ordination, It was in favor of interpreting the ecological meaning of the ordination axes. The first axis expressed the gradient of altitude among the communities, and the second axis represented the gradient in aspect and slope among the communities. Generally using DCCA, the quadrats with similar composition and environments and the species with similar habitat located closer to the center of the ordination plot.

Key words: forest community; TWINSpan classification; DCA ordination; DCCA ordination; Lishan Mountain

文章编号:1000-0933(2003)03-0421-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

随着 20 世纪 80 年代以来,景观生态学理论与应用研究的发展,关于区域-景观水平植被-环境关系的定量化研究进展很快,植被格局的研究再度成为植被生态学研究的重点之一^[1~4]。从更广泛的意义上讲,植被的分布格局是不同尺度,各种环境因子气候、土壤、地形等综合作用的结果,然而,不同尺度植被格局的环境解释,仍然有待于在更广泛尺度上的进一步验证^[5]。

对于历山的研究工作,主要是围绕植被带垂直分布规律^[6]、植物资源^[7]、植物区系^[8~10]等几个方面展开的,而针对历山森林群落运用定量的数学分析手段进行深入、细致地探讨植被分布格局与环境之间的偶合关系方面的研究尚未见报道。目前,数量分类和排序仍然是研究植被格局、植被与环境间关系的基本手段^[11~16],因此,本文采用 TWINSpan、DCA 和 DCCA,来研究历山森林群落的分布格局、及其与环境之间的相互关系,以期对历山植被的分布特性及其与环境之间的生态关系有一个更加深入的认识。

1 研究对象和方法

1.1 研究区域概况

历山国家级自然保护区位于山西省南部中条山东段,地处 111°05′43″~ 111°56′29″E, 35°29′07″~ 35°23′10″N,主峰舜王坪海拔 2358m。历山属暖温带大陆性季风型气候,夏季炎热多雨、冬季寒冷干燥,年均温 13.3℃,年均降水量 667.6mm。土壤垂直分异明显,自下而上依次为褐土、山地褐土、山地淋溶褐土、棕色森林土和山地草甸土。

历山地形复杂、水热资源丰富、植被覆盖完好,植被垂直带自下而上可划分为:侧柏林带(500~1000m)、松栎林带(800~1500m)、栓皮栎林带(1400~2000m)、杨桦林带(1900~2200m)、山地草甸带(2100~2358m)^[6]。

1.2 取样

2000 年 7 月以历山自然保护区猪尾沟为研究地,从海拔 1400m 开始,以间隔垂直距离 100m 设置 1~2 个样地(20m×20m),每个样地由 4 个 10m×10m 的样方组成(其中有 1 个样地由 2 个样方组成),并分别在每一个样方内取一个 4m×4m 的灌木样方和一个 1m×1m 草本样方,直至海拔 2100m,共 15 个样地,58 个样方。调查记录内容包括:(1)乔木种的盖度、高度、胸径和株数;(2)灌木种的盖度和高度;(3)草本植物的盖度和高度;(4)群落综合特征和生境特征,包括乔、灌、草总盖度,海拔、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、活地被层厚度等;(5)在每个样方中心,除去腐殖质层大约 10cm 深度处取一土样。58 个样方共记录了 160 个种,18 个乔木幼树同时又归入灌木层植物统计,因而得到 58×178 的原始数据矩阵。

1.3 数据处理

对每个样方分别计算乔木、灌木和草本植物的重要值:

乔木重要值 = (相对盖度 + 相对高度 + 相对优势度) / 300

灌木重要值 = (相对盖度 + 相对高度) / 200

万方数据 草本重要值 = 相对盖度 / 100

环境数据包括 12 个环境因子,即海拔、坡度、坡向、全磷、土壤有机质、土壤全氮、电导率、土壤 pH、Cu、

Mn、Zn 和 K,因而组成 58×12 的环境因子数据矩阵。

海拔、坡度数据以实际观测记录值表示。坡向数据是以朝东为起点(即为 0°),顺时针旋转的角度表示,采取每 45°为一个区间的划分等级制的方法,以数字表示各等级:1 表示北坡(247.5°~292.5°),2 表示东北坡(292.5°~337.5°),3 表示西北坡(202.5°~247.5°),4 表示东坡(337.5°~22.5°),5 表示西坡(167.5°~202.5°),6 表示东南坡(22.5°~67.5°),7 表示西南坡(112.5°~167.5°),8 表示南坡(67.5°~112.5°),显然数字越大,表示越向阳,越干热。

1.4 数据分析

本文数量分类采用 VESPAN 软件包中 Hill(1979)设计的 TWINSPLAN,排序采用 Braak(1988)设计的 CANOCO 软件包标准程序中的 DCA、DCCA。

2 结果

2.1 TWINSPLAN 分类

对历山 58 样方进行 TWINSPLAN 等级分类, TWINSPLAN 将 58 个样方划分为 13 组(图 1),但结合实际生态意义,最终采取第四级水平的划分,历山猪尾沟森林群落被划分为 9 个群落类型:

(1)群落Ⅰ 红桦+山柳+华山松-六道木+土庄绣线菊-展枝唐松草+卷茎蓼群落(Asso. *Betula albo-sinensis* + *Salix pseudotangii* + *Pinus armandi*-*Abelia biflora* + *Spiraea pubescens*-*Thalictrum squarrosum* + *Polygonum convolvulum*)。包含样方 33、35、37、58。

(2)群落Ⅱ 红桦+山杨-山梅花-展枝唐松草+升麻(Asso. *Betula albo-sinensis* + *Populus davidiana*-*Philadelphus incanus*-*Thalictrum squarrosum* + *Cimicifuga foetida*)。包含样方 42、46、47、49、50、51、52、53、54、55、56、57。

(3)群落Ⅲ 青柞槭+五角枫-金花忍冬+珍珠梅-鳞毛蕨+舞鹤草(Asso. *Acer davidii* + *Acer mono*-*Lonicera chrysantha* + *Sorbaria sorbifolia*-*Dryopteris barbigera* + *Maianthemum bifolium*)。包含样方 30、34、36、38、40、48。

(4)群落Ⅳ 青柞槭+鹅耳枥-山梅花-玉竹+翼茎风毛菊(Asso. *Acer davidii* + *Carpinus turczaninowii*-*Philadelphus incanus*-*Polygonatum odoratum* + *Saussurea japonica* var. *alata*)。包含样方 21、25、26、27、28、29、31、32、39、41、43、44、45。

(5)群落Ⅴ 五角枫+野核桃-接骨木-牛膝+野艾蒿(Asso. *Acer mono* + *Juglans cathayensis*-*Samnucus williamsii*-*Achyranthes bidentata* + *Artemisia lavendulaefolia*)。包含样方 20、22、24。

(6)群落Ⅵ 漆树+小叶鹅耳枥-连翘+接骨木-落新妇+翼茎风毛菊(Asso. *Toxicodendron verniciflum* + *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata*-*Forsythia suspensa* + *Samnucus williamsii*-*Astilbe chinensis* + *Saussurea japonica* var. *alata*)。包含样方 17、18、19、23。

(7)群落Ⅶ 小叶鹅耳枥+鹅耳枥-连翘-糙苏+鳞毛蕨(Asso. *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata* + *Carpinus turczaninowii*-*Forsythia suspensa*-*Phlomis umbross* + *Dryopteris barbigera*)。包含样方 5、6、7、8、9、10、11、12。

(8)群落Ⅷ 野核桃-连翘-糙苏+野艾蒿(Asso. *Juglans cathayensis*-*Forsythia suspensa*-*Phlomis umbross* + *Artemisia lavendulaefolia*)。包含样方 13、14、15、16。

(9)群落Ⅸ 华山松-荆条-异叶败酱+披针苔草(Asso. *Pinus tabulaeformis*-*Vitex negundo* var. *heterophylla*-*Patrinis jeterophylla* + *Carex lanceolata* var. *subpeditormis*)。包含样方 1、2、3、4。

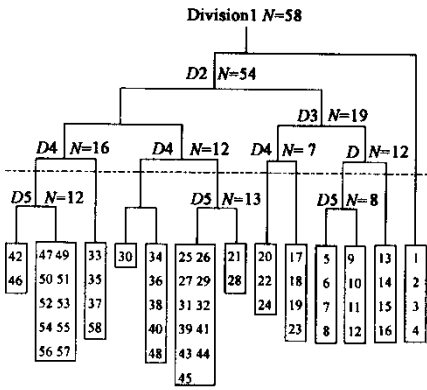


图 1 猪尾沟森林群落 58 个样方的 TWINSPLAN 分类树状图
Fig. 1 Dendrogram of the TWINSPLAN classification of 58 quadrats in Lishan Mountain

9 个植物群落类型特征描述如表 1,该分类结果较为客观地对历山猪尾沟森林群落进行划分,准确地揭示出植物群落类型与环境梯度之间的关系,同时划分群落的指示种也较为充分地反映了群落生境的特征。

表 1 群落的结构特征和环境特征

Table 1 The structure characteristics and environmental characteristics of the communities									
群落类型 Type	海拔高度 Elevation (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	群落总盖度 Total cover of community (%)	乔木层盖度 Cover of tree (%)	灌木层盖度 Cover of shrub (%)	草本层盖度 Cover of herb (%)	苔藓层盖度 Cover of mosses (%)	死地被层厚度 Thickness of dead coverage (cm)
I	1800~2100	25	1	92	88	39	38	6	4
II	1900~2100	15	2~6	87	79	21	32	8	5.6
III	1700~1920	15~25	1~2	85	78	40	29	28	5.3
IV	1620~1920	15~25	1~4	92	87	31	31	16	4.4
V	1600~1620	20	1~2	87	75	43	30	23	3.3
VI	1600~1620	20	1~2	99	76	26	72	7	3.5
VII	1500~1510	15~20	4	96	89	49	58	25	5
VIII	1550	5	5~7	89	61	28	64	20	2
IX	1400	10	1	88	58	53	51	10	4

2.2 DCA 排序

采用 DCA 对历山 58 个森林样方进行分析,并根据前两个排序轴作出二维排序图(图 2)。由图可见, TWINSpan 分类所得各群落类型在二维排序上各有自己的分布范围和界线,说明 DCA 较好地反映出各植物群落之间以及植物群落与环境之间的关系。

从排序轴来看,第一轴基本上反映各植物群落所在环境的湿度梯度,即 DCA 第一轴从左到右,湿度逐渐增大;第二轴基本上反映各植物群落所在环境的温度变化,即 DCA 第二轴从下到上,气温逐渐降低; DCA 排序图对角线基本上反映海拔梯度的变化,即从左下方到右上方,海拔高度逐渐升高。

从群落类型来看,各群落类型在排序图上有规律地分布。适宜于寒冷、湿润的高海拔生境的第 I、II 类森林群落位于排序图右上部;耐旱喜阳的第 IX 类远离其它群落位于排序图的最左端;第 V、VI、VIII 类森林群落对水分要求不太严格,但适于较低海拔的温暖环境;而对于 III、IV、VII 类群落来说,生境范围广,因而位于排序图较为中心的位置。

从排序图中还可明显反映出各植物群落间的相关性。对于第 IX 类来说,它与其它群落类型在排序图中相隔甚远,说明它与其它群落在结构组成、生境等方面差异性很大;其余 I 和 II, III 和 IV, V、VI、VII 和 VIII 各自分别成小团块分布,相互之间关系紧密,这也是由各自相近的群落结构和生境特征所决定的。

图 3 是历山猪尾沟森林群落优势种在 DCA 种类排序图中的分布。由图 3 可以得出,植物群落中的优势种的分布格局与植物群落类型的分布格局有很大的相似性,如 11 号种为油松,以油松为优势种的群落 IX 与油松均位于 DCA 排序图的最左端;同样 7 号种野核桃与以野核桃为优势种的群落 VIII 均位于 DCA 二维排序图的最下方。由此可反映出植物群落中优势种的分布

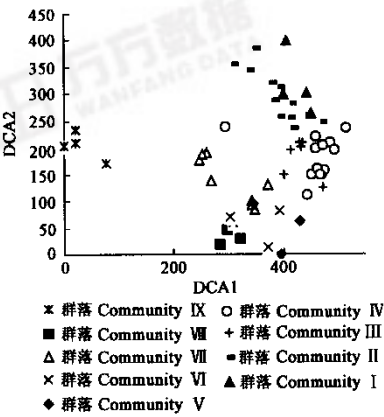


图 2 58 个样方的 DCA 二维排序图

Fig. 2 Two-dimensional DCA ordination diagram of 58 quadrats in Lishan Mountain

格局在很大程度上决定着植物群落类型的分布格局。

图 3 中每种植物都有自己的分布中心和分布区域,这是由各自适宜生存的环境条件所决定的。11 号种因耐干旱而位于排序轴最左端;耐寒冷、喜湿润的 10 号、13 号等位于排序图右上方;14 号、7 号喜温暖、湿润而位于排序图右下方;1 号、6 号、15 号、8 号适应性强,有着广阔的生存空间,因而位于排序图较为为中心的位置。总的来说,DCA 第一轴从左到右,植物种由耐干旱的逐渐向喜湿润的过渡;第二轴从下到上,植物种由喜温暖的种类向耐寒冷的种类逐渐过渡,而沿 DCA 对角线从左下方向右上方,由多见于低海拔地区的植物向多分布于高海拔地区的植物过渡。

2.3 DCCA

目前,DCCA 是分析植被-环境关系最先进的多元分析技术。DCCA 是限定性排序,即在每一轮样方值——物种值的加权平均叠代运算后,用环境因子值与样方排序值作一次多元线性回归,这样得出的排序轴代表环境因子的一种线性组合,称为环境约束的对应分析(CCA)。然后加入除趋势算法去掉因第一、二排序轴间的相关性而产生的“弓形效应”而成为 DCCA。由于 DCCA 同时结合植被数据和环境来计算排序值,更有利于排序轴生态意义的解释,而成为现代植被梯度分析与环境解释的趋势性方法^[13, 14, 17, 18]。

这里采用 DCCA 对历山猪尾沟森林群落进行了分析,并将其结果与 DCA 的结果进行了比较。图 4 和图 5 分别为 DCCA 中样方和种的二维排序图。图中,箭头表示环境因子,箭头连线的长短表示植物群落的分布与该环境因子相关性的大小,箭头连线在排序中的斜率表示环境因子与排序轴相关性的正负,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负。

从图中可看出,第一轴基本上反映各植物群落所在环境的海拔梯度,即沿 DCCA 第一轴从左到右,海拔逐渐升高(海拔与 DCCA 第一轴相关系数为 0.866);第二轴基本上表现出植物群落所在环境的坡度、坡向的变化趋势(坡向与第二轴相关系数为 0.594,坡度与第二轴的相关系数为-0.530),即沿 DCCA 第二轴从下到上,坡度渐缓、群落越向阳。尽管如此不难看出,海拔梯度是所有因子中对植物群落分布起决定性作用的环境因子。同时,样方和种的 DCCA 排序图也很好地

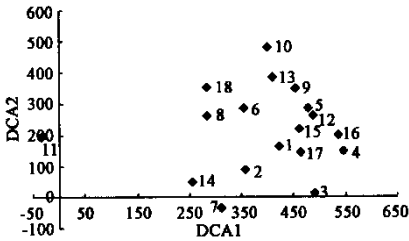


图 3 猪尾沟森林群落主要乔木种的 DCA 二维排序
Fig. 3 Two-dimensional DCA ordination diagram of the main tree species in Lishan Mountain

1. 鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* 2. 小叶鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata* 3. 脱皮榆 *Ulmus lamellosa* 4. 青柞槭 *Acer davidii* 5. 花楸 *Sorbus pohuashanensis* 6. 辽东栎 *Quercus liaotungensis* 7. 野核桃 *Juglans cathayensis* 8. 白桦 *Betula platyphylla* 9. 红桦 *Betula albo-sinensis* 10. 华山松 *Pinus armandi* 11. 油松 *Pinus tabulaeformis* 12. 山柳 *Salix pseudotangii* 13. 山杨 *Populus davidiana* 14. 漆树 *Toxicodendron verniciflum* 15. 五角枫 *Acer mono* 16. 盐肤木 *Rhus chinensis* 17. 蒙椴 *Tilia mongolica* 18. 槲栎 *Quercus aliena*
- 万方数据

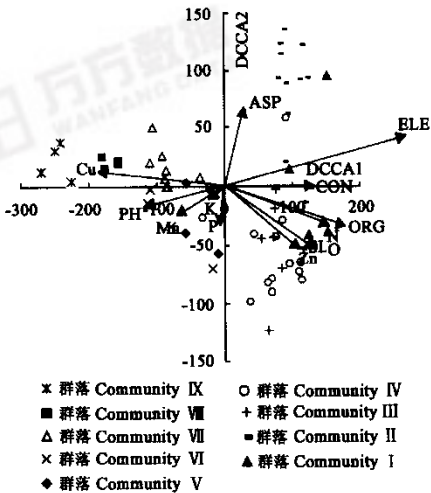


图 4 58 个样方的 DCCA 二维排序
Fig. 4 Two-dimensional DCCA ordination diagram of 58 quadrats in Lishan Mountain

反映出各植物群落所在生境的土壤营养状况。

对于 pH 值,高海拔群落类型 pH 值较低、土壤酸性较强,低海拔群落类型 pH 值偏高、土壤趋中性化;对于有机质、N、电导率(含盐量)则是高海拔群落类型有着较高含量,而低海拔群落含量偏低,这主要是由于高海拔群落类型水热条件较好、森林发育较好而土壤发育较好所致。

K、P 为植物生长所需的大量元素,在森林群落中均有较高的含量,在不同群落类型间无明显的差异性;Cu、Mn、Zn 为植物生长的微量元素,除 Cu 随海拔升高而呈降低趋势外,Mn、Zn 在不同群落类型间均明显的差异性。

总体来讲,样方和种的 DCCA 排序图类似于 DCA 的样方和种的排序图,但前者的分布格局均比后者的分布格局要紧凑,而且同一群落的各样方和具有类似生境的植物种在各自的排序图中更加聚集。

表 2 为 DCA、CCA、DCCA 特征值、相关系数比较表。由表可知,DCA 的特征值均高于 CCA、DCCA,但环境排序轴与种类排序轴间的相关系数明显低于 CCA、DCCA,因而 CCA 和 DCCA 的应用突出体现了种与环境的相关性。

3 讨论

3.1 采用 TWINSpan 等级分类,猪尾沟 58 个森林群落样方划分为 9 个群落类型。

3.2 从更广泛的意义上讲,植物种、植物群落的分布格局是不同尺度上,各种环境因子气候、土壤、地形等综合作用的结果。区域尺度上讲,气候、植物区系决定特定的植被类型;景观尺度上讲,如海拔这一环境因子,使植被沿局部气候条件的变化而导致植被类型的变化,进而决定植被分布格局;而微生境、土壤养分等决定最终的植物群落类型^[5]。

本文 DCA 排序研究表明,对于特定的研究区域猪尾沟,制约森林群落类型、植物种分布格局的主要因素是海拔梯度,即水、热两个环境因子。此外,对于本研究范围,海拔高度从低到高,也反映了人类干扰这一因子逐渐减弱的梯度。

3.3 DCCA 排序结果表明,与 DCA 相比,58 个森林样方和 18 个主要乔木种在 DCCA 二维排序中的分布格局要更加紧凑、集中,而且同一群落的各样方和具有类似生境的植物种在各自的排序图中更加聚集。

3.4 DCA 和 DCCA 比较 (1)DCA 排序的数据源为种类组成数据,而 DCCA 则使用两个数据矩阵即:种类数据矩阵和环境因子矩阵,它有利于排序轴生态意义的解释。

(2)DCA 排序的特征值高于 DCCA,但 DCCA 排序中环境轴与种类排序轴的相关系数远高于 DCA 排序,这是因为 DCCA 排序图中采用的排序轴是由所测定环境因子的线性组合得到,即所谓的“环境约束”,因此 DCCA 的应用突出反映了种与环境的相关性。

(3)DCCA 的排序轴不仅反映样方间在种类组成上的相似性,而且反映样方间在环境因子组成上相似性,而这两种相似性往往相互联系。一般来讲,种类组成接近的植物群落,在其环境因子组成上也较接近,这是由植物种、植物群落和环境因子之间相互作用的生态关系所决定的,因此表现在排序图中样方、种更加集中,群落间的界线变得更加模糊,所以,如果同分类方法结合使用,DCA 的效果要好于 DCCA。

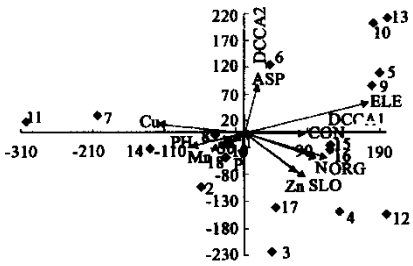


图 5 森林群落优势树种的 DCCA 二维排序

Fig. 5 Two-dimensional DCCA ordination diagram of the main tree species in Lishan Mountain

* 种号同图 2 No. of species is the same as fig. 2

表 2 DCA、CCA 和 DCCA 排序轴特征值及种-环境相关系数

Table 2 Eigenvalues and species-environment correlation coefficients for the first three axes of DCA, CCA and DCCA

		Axis1	Axis2	Axis3
特征值 Eigenvalues	DCA	0.742	0.455	0.261
	CCA	0.651	0.452	0.320
	DCCA	0.651	0.262	0.133
种与环境的相关系数 Species-environment correlation coefficients	DCA	0.460	0.320	0.097
	CCA	0.964	0.881	0.928
	DCCA	0.977	0.921	0.888

References:

[1] Jongman R H G, Braak C J F ter, Tongeren O F R van. *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc. Wageningen, 1987.

[2] Turner M G and Gardner R H. *Quantitative methods in landscape ecology*. New York: Springer-Verlag, 1991.

[3] Mladenoff D and Baker W L. *Spatial Modeling of Forest Landscape Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

[4] Shen Z H. A multi-scale study on the vegetation-environment relationship of a mountain forest transect. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(4): 461~470.

[5] Burke A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountains, Namibia. *J. Veg. Sci.*, 2001, **12**: 53~60.

[6] Zhang J T, Zhang F, Shangguan T L. Reanalysis of vertical zones of vegetation in Zhongtiao Mountain. *Journal of Shanxi University* (Nature Science edition), 1997, **20**(1): 76~79.

[7] Liu T W, Zeng Z B, Sha X L, et al. A preliminary report of investigation of the natural plant resource of seventy-two Hungou at the Zhongtiao Mountains, Shanxi Province. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1984, **2**(2): 259~266.

[8] Fu Z J, Zheng X T. The characteristics of flora in the Zhongtiao Mountain. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 1994, **14**(2): 148~152.

[9] Ru W M, Zhang F. On the flora of seed plants in the eastern segment of Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Journal of Shanxi University* (Nature Science edition), 2000, **23**(1): 82~87.

[10] Shangguan T L, Zhang F, Fan L S. Analysis on the flora of xylophyta in Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, **20**(2): 143~155.

[11] Zhang J T. The developments of numerical methodologies in vegetation. In: Liu J G, ed. *Advances in Modern Ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992. 249~265.

[12] Zhang Jin-Tun. *Mountain Grassland Ecology of North Snowdonia*. China: Science and Technology Press, 1993. 24~68.

[13] Zhang Jin-Tun and Oxley E R B. A comparison of three methods of multivariate analysis of upland grasslands in North Wales. *J. Veg. Sci.*, 1994, **5**: 71~76.

[14] Zhang J T. *The methods in plant quantitative ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995. 144~154.

[15] Mucina I. Classification of vegetation: Past, present and future. *J. Veg. Sci.*, 1997, **8**: 751~760.

[16] Zhang F, Zhang J T. Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China. *Journal of Shanxi University* (Natural Science edition), 2000, **23**(3): 278~282.

[17] Qiu Y, Zhang J T. The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(2): 199~206.

[18] Shen Z H, Zhang X S, Jin Y X. Gradient analysis of the influence of mountain topography on vegetation pattern. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(4): 430~435.

参考文献:

[4] 沈泽昊. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究. *生态学报*, 2002, **22**(4): 461~470.

[6] 张金屯, 张峰, 上官铁梁. 中条山植被垂直带谱再分析. *山西大学学报(自然科学版)*, 1997, **20**(1): 76~79.

[7] 刘天魁, 等. 山西中条山 72 道混沟植物资源考察初报. *武汉植物学研究*, 1984, **2**(2): 259~266.

[8] 傅志军, 郑雪婷. 山西中条山植物区系的特征. *西北植物学报*, 1994, **14**(2): 148~152.

[9] 茹文明, 张峰. 山西中条山东部种子植物区系分析. *山西大学学报(自然科学版)*, 2000, **23**(1): 82~87.

[10] 上官铁梁, 张峰, 樊龙锁. 中条山木本植物区系地理成分分析. *植物研究*, 2000, **20**(2): 143~155.

[11] 张金屯. 植被数量分析方法的发展. 见: 刘建国主编. *当代生态学博论*. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 249~265.

[14] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 144~154.

[16] 张峰, 张金屯. 我国植被数量分类和排序研究进展. *山西大学学报(自然科学版)*, 2000, **23**(3): 278~282.

[17] 邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用. *生态学报*, 2000, **20**(2): 199~206.

[18] 沈泽昊, 张新义, 方芳. 地形对亚热带山地景观植被格局影响的梯度分析. *植物生态学报*, 2000, **24**(4): 430~435.